

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

SERVICE

de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

BREVET D'INVENTION

P.V. n° 964.027

Classification internationale :



N° 1.382.706

H 03 f

Dispositif fonctionnant suivant le principe du maser ou du laser.

Société dite : SIEMENS & HALSKE AKTIENGESellschaft résidant en Allemagne.

Demandé le 17 février 1964, à 15^h 7^m, à Paris.

Délivré par arrêté du 9 novembre 1964.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 51 de 1964.)

(Demande de brevet déposée en République Fédérale d'Allemagne le 21 février 1963, sous le n° S 83.828, au nom de la demanderesse.)

Les processus physiques qui, avec les dispositifs de type maser ou laser, conduisent à l'amplification et/ou à la production de rayonnement de très courte longueur d'onde, des gammes centimétrique et millimétrique, ou bien de la gamme du rayonnement optique, ainsi que la réalisation de ces dispositifs eux-mêmes, sont connus en soi d'une façon générale. Il s'agit d'amplifier ou de produire un rayonnement cohérent par émission induite, stimulée par un rayonnement de même longueur d'onde, introduit dans le dispositif, ou bien déjà présent dans celui-ci. L'énergie nécessaire à l'amplification du rayonnement est prélevée sur celle des états d'énergie à population inversée de la substance à effet maser ou laser, tandis que l'inversion de la population des niveaux d'énergie est elle-même produite par un apport d'énergie externe, par exemple par des radiations lumineuses ou par d'autres dispositions connues. Dans de nombreux cas, notamment dans le cas des lasers qui amplifient ou produisent un rayonnement optique, ce sont les populations de niveaux d'énergie électroniques qui sont inversées. L'émission induite correspond alors aux transitions stimulées d'électrons d'un niveau d'énergie élevé à un niveau d'énergie inférieur.

La présente invention concerne un dispositif pour amplifier et/ou produire des micro-ondes suivant le principe du maser, ou bien un rayonnement optique suivant le principe du laser; le dispositif selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour soumettre la substance à effet maser ou laser à une tension ou une variation de pression, qui modifie les propriétés des niveaux d'énergie de ladite substance. Les moyens prévus selon l'invention servent à désaccorder ou à augmenter la largeur de bande du dispositif amplificateur.

Comme substances à effet maser ou laser on peut utiliser des substances gazeuses, liquides ou solides.

On sait que l'application d'une pression à un gaz ou un mélange gazeux, provoque un élargissement des raies d'absorption ou d'émission du gaz considéré, qui augmente en même temps que la pression, par exemple par rapport à leur largeur pour une pression de l'ordre de 100 Torr. L'apparition de cet élargissement des raies sous l'effet de la pression est liée à l'augmentation de la fréquence des chocs des particules du gaz, qui a lieu lorsque la pression de ce dernier augmente, à la réduction de la durée de vie des états excités des atomes ou des ions, ainsi qu'à l'augmentation des actions mutuelles des particules, due à l'accroissement de la probabilité de leur interaction; le même élargissement des raies a lieu également dans le cas de l'émission stimulée qui peut être obtenue avec des lasers à gaz.

Les liquides, notamment ceux dans lesquels d'autres substances sont contenues, par exemple à l'état de dissolution, présentent, en ce qui concerne l'influence de la pression sur les fréquences des raies ou des bandes d'émission et d'absorption, un comportement qui correspond en partie à celui des gaz, mais aussi en partie à celui des corps solides, qui vont être considérés ci-après de façon plus détaillée.

On sait que dans un corps solide une tension mécanique modifie également les propriétés des niveaux énergétiques. Selon la dégénérescence quantique du niveau d'énergie considéré, cette modification se traduit par une simple variation de l'écart énergétique entre ce niveau ou un bord de bande, et un autre niveau et/ou la bande de conductibilité et/ou la bande de valence, ainsi que/ou bien par une séparation de chacun des différents niveaux en plusieurs niveaux.

Cette modification du diagramme énergétique d'une substance, provoquée par une tension mécanique, se traduit expérimentalement par un déplacement et/ou un élargissement des raies de fluorescence ou d'absorption de la substance considérée. Les tensions peuvent être provoquées

64 2191 0 73 766 3

Prix du fascicule : 2 francs

par exemple par une pression, une traction, une flexion ou un cisaillement, ou bien encore grâce à la coopération de plusieurs sortes de tensions mécaniques; il faut en outre tenir compte du fait que les forces qui donnent naissance à la tension peuvent présenter une action anisotrope dans le cas de corps solides ayant notamment une structure monocristalline. L'élargissement d'une raie de fluorescence ou d'absorption, qui est dû à la tension existant dans la substance, peut aller jusqu'à une décomposition de cette raie, c'est-à-dire que la distribution usuelle de l'intensité d'une raie de fluorescence en fonction de la fréquence, suivant une courbe en cloche, est remplacée par une distribution suivant une courbe qui présente deux ou plusieurs maxima, séparés par des minima, ce qui doit être attribué à une décomposition de l'un au moins des niveaux énergétiques participant à la transition.

Dans le cas par exemple du germanium dopé avec de l'arsenic, la suppression de la dégénérescence des niveaux d'énergie des impuretés, provoquée par une tension mécanique, entraîne une décomposition, dépendant de la valeur de la tension, de chacun des différents niveaux d'excitation de l'arsenic, en deux niveaux. La dégénérescence du niveau triplet de l'état fondamental de l'arsenic dans le germanium peut être également supprimée par une tension mécanique de manière à faire apparaître une décomposition de ce niveau en trois. D'une façon générale l'état fondamental de l'arsenic dans le germanium est déjà décomposé naturellement en un niveau singulet et un niveau triplet.

Les conditions sont tout à fait analogues pour les niveaux énergétiques du phosphore dans du germanium dopé avec du phosphore. La nature des déplacements et/ou des décompositions des niveaux énergétiques en fonction de la tension mécanique peut être déterminée dans chaque cas pour des substances à effet laser, par des essais ou des calculs connus.

De même qu'une raie de fluorescence, la bande de fréquence de l'émission stimulée d'un maser ou d'un laser, c'est-à-dire la bande où ces dispositifs peuvent amplifier ou produire un rayonnement, est également déplacée ou élargie par l'action d'une tension mécanique. Il n'en résulte aucune condition fondamentalement nouvelle pour le fonctionnement d'un laser; par exemple, l'inversion de population des niveaux ou des bandes énergétiques considérés pour la transition stimulée peut être effectuée de façon normale. Une réalisation spéciale du maser ou du laser est cependant éventuellement nécessaire, comme on l'indiquera ci-après.

Le dispositif selon l'invention peut être réalisé avec n'importe quelle substance à effet maser ou laser, par exemple avec des systèmes à pompage optique, ou encore avec des systèmes à excitation par injection de porteurs. Des cou-

ches monocristallines, obtenues par croissance, notamment à structure épitaxiale, constituent en particulier des substances à effet laser avantageuses, car elles permettent, d'une façon particulièrement simple, de déposer en superposition plusieurs couches semi-conductrices à conductibilités alternées de types p et n , séparées éventuellement par des couches à conductibilité intrinsèque.

Des substances semi-conductrices de ce genre, notamment celles dont le pompage est produit par injection de porteurs, conviennent particulièrement pour la réalisation du dispositif selon l'invention. Il est possible de les obtenir, de façon relativement simple, sous une épaisseur très faible, ce qui est avantageux notamment pour l'une des formes de réalisation du dispositif selon l'invention. Il semble particulièrement favorable d'utiliser pour le dispositif selon l'invention, des substances ou des combinaisons de substances à effet laser, dont le pompage est produit par injection de porteurs, du fait que l'injection de porteurs permet généralement d'obtenir la densité d'énergie très élevée, qui est nécessaire pour l'émission stimulée. De cette façon, les corps utilisés par exemple pour constituer des lasers peuvent être réalisés avec une forme allongée ou plate, comparativement par exemple à un laser formé par une tige de rubis, et, à puissance de rayonnement égale, avec de très faibles dimensions. Ceci apporte notamment toute une série d'avantages en ce qui concerne la réalisation des dispositifs de mise en tension mécanique; par exemple il est plus simple de produire une tension partout homogène par l'intermédiaire d'une surface plus petite.

À titre d'exemple, on a décrit ci-dessous et illustré schématiquement au dessin annexé deux formes de réalisation du dispositif selon l'invention.

La figure 1 représente schématiquement un dispositif laser, comportant un semi-conducteur 1 constitué par des éléments $1'$, $1''$, qui ont de préférence des types de conductibilité différents, et entre lesquels est prévue une jonction $p-n$, 2, pourvue éventuellement, entre sa couche à conductibilité de type n et sa couche à conductibilité de type p , d'une couche à conductibilité intrinsèque. La jonction 2 est traversée, à peu près parallèlement à elle-même, par des rayons 3; 4 et 4' sont des surfaces réfléchissantes, qui sont réalisées convenablement, de façon connue, en fonction de la fréquence du laser et du mode de prélèvement du rayonnement qui est prévu. Pour un amplificateur, les surfaces réfléchissantes sont éventuellement supprimées, et les rayons 3 ne traversent qu'une seule fois la jonction 2. Un dispositif de serrage 5 permet d'exercer sur des plaques 7 et 7' une pression qui peut être ajustée à l'aide d'une vis 6. La distribution de la pression dans la jonction 2 peut être choi-

sie homogène; il est cependant également possible de la choisir hétérogène, moyennant des plaques 7 et 7' appropriées, par exemple non planes. 9 et 8 désignent des amenées de courant qui sont disposées sur le semi-conducteur 1 de façon qu'un courant électrique provenant d'un générateur 10, traverse l'élément 1', puis la jonction $p-n$, 2, dans son sens direct, et en étant réparti sur toute sa surface, et enfin l'élément 2".

Dans le cas où la tension est distribuée de façon homogène dans la jonction 2, les différents niveaux énergétiques sont déplacés dans toute la jonction de façon régulière, c'est-à-dire de la même quantité, s'il ne se produit aucune décomposition desdits niveaux énergétiques. Le maser ou le laser est ainsi seulement désaccordé. Si cependant le ou les niveaux énergétiques participant à l'effet laser est ou sont dégénérés, de telle sorte qu'un ou plusieurs d'entre eux se décomposent, on peut déjà obtenir un élargissement de la bande. Un élargissement de la bande est aussi déjà obtenu si une pression hétérogène est exercée sur le semi-conducteur 1 ou la jonction 2, et si les niveaux énergétiques correspondant à la transition de l'effet laser ne se décomposent pas, c'est-à-dire ne sont pas dégénérés. Selon que la tension dans la jonction 2 est plus ou moins élevée, l'écart énergétique des niveaux correspondant aux transitions de l'effet laser est modifié de ce fait plus ou moins fortement par rapport à l'état où aucune tension ne règne dans le semi-conducteur.

Si l'on exige que la bande soit élargie d'une façon particulièrement importante, et en particulier que la courbe représentant les variations de l'amplification du laser en fonction de la fréquence ait une forme largement rectangulaire, il est recommandé de choisir comme substance à effet laser une substance pour laquelle la raie de fluorescence correspondant à la transition stimulée augmente de largeur en fonction de la pression, c'est-à-dire dans laquelle un ou plusieurs des niveaux énergétiques participant à la transition qui correspond à l'effet laser, se décompose sous l'action d'une tension mécanique, et en outre de créer une tension hétérogène dans la jonction 2. Selon l'importance de la tension locale il se produit un élargissement variable de l'intervalle énergétique correspondant à la transition de l'effet laser qui doit être stimulée. Les minima de la distribution, en fonction de la fréquence, de l'intensité de la raie correspondant à la transition de l'effet laser, qui peuvent être constatés pour une tension mécanique très élevée de la substance présentant l'effet laser, sont compensés, pour la totalité du dispositif laser, par la fraction du rayonnement dont l'intensité ne présente qu'un minimum peu prononcé, ou même pas du tout de minimum, et qui est amplifiée ou produite dans les zones de la substance soumises à une faible tension mécanique.

La figure 2 représente une autre forme de réalisation du dispositif selon l'invention, dans laquelle la tension hétérogène désirée est obtenue par flexion d'un corps semi-conducteur présentant l'effet laser, 21, qui a la forme d'une tige dans l'exemple choisi, et sur lequel est déposée, par exemple épitaxialement, une couche à jonction 22, où ont lieu les transitions stimulées de l'effet laser; cette couche à jonction 22 est constituée par une ou plusieurs couches à conductibilités de types p et n , ainsi éventuellement que par des couches à conductibilité intrinsèque, intercalées entre les couches de types de conductibilité différents. Le rayonnement laser parcourt un trajet, tel que celui indiqué en 23 sur lequel il est réfléchi, de préférence totalement, par exemple plusieurs fois, sur la surface 24 du corps semi-conducteur 21 et éventuellement sur la surface 25 qui délimite intérieurement la couche à jonction 22. La surface 24 est de préférence polie. Dans le cas où l'on désire une réflexion sur la surface 25, il est également possible de doper le corps 21, tout au moins au voisinage de ladite surface 25, assez fortement pour que le rayonnement y subisse une réflexion métallique. Selon que le dispositif doit être employé comme amplificateur à effet laser ou comme source de rayonnement à effet laser, les faces 26, 26' sont rendues transparentes ou presque totalement réfléchissantes. Des réflecteurs externes peuvent être également disposés de façon connue pour faire traverser plusieurs fois la couche 22 par le rayonnement.

Le pompage des lasers dans lesquels un désaccord et/ou un élargissement de la bande est produit selon l'invention par une tension mécanique, peut être effectué de façon connue, par exemple par irradiation par un rayonnement électromagnétique, par exemple lumineux, indiqué en 27. Pour cela, il est nécessaire que la surface 24 soit transparente pour le rayonnement lumineux de pompage, et que ce dernier puisse pénétrer assez profondément dans la couche 22. Une autre méthode applicable pour inverser les populations dans la substance du dispositif laser, c'est-à-dire pour produire son pompage, consiste à exciter les niveaux énergétiques correspondant à l'effet laser par l'injection de porteurs de charges, par exemple dans la zone d'une jonction $p-n$.

Sur la figure 2, 28, 28' et 29 désignent des dispositifs connus qui déterminent ou maintiennent la flexion du corps en forme de tige 21.

Des essais ont montré qu'il est possible d'obtenir par exemple des décompositions d'une raie de fluorescence ou d'absorption allant jusqu'à

$$\frac{\Delta f}{f} = 5 \%, \text{ où } \Delta f \text{ désigne l'intervalle des deux}$$

maxima que l'effet de la tension mécanique a fait apparaître dans la distribution de l'intensité de la raie de fluorescence, et f la fréquence

du rayonnement laser. Pour une fréquence $f = 3.10^{14}$ Hz qui correspond à une longueur d'onde d'environ 1μ , on obtient une largeur de bande de l'amplificateur d'environ 15.10^{12} Hz.

Comme on l'a déjà indiqué, la jonction $p-n$ peut être également remplacée par plusieurs couches superposées de types de conductibilité p et n alternés, entre lesquelles se trouve la jonction à effet laser. En reliant entre elles les couches de même type de conductibilité on obtient les deux pôles auxquels est reliée la source de courant servant à envoyer dans le dispositif laser le courant continu nécessaire au pompage par injection de porteurs. Lorsque l'on utilise un courant alternatif, il suffit par contre de raccorder la couche supérieure ou la couche inférieure, et de faire fonctionner les autres couches comme si elles étaient connectées en série les unes avec les autres, les jonctions polarisées en sens inverse jouant le rôle d'impédances capacitives montées en série pour les jonctions qui sont polarisées dans le sens direct.

RÉSUMÉ

1° Dispositif pour amplifier et/ou produire des micro-ondes suivant le principe du maser, ou bien un rayonnement optique suivant le principe du laser, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour soumettre la substance à effet maser ou laser à une tension ou une variation de pression, qui modifie les propriétés des niveaux d'énergie de ladite substance.

2° Formes de réalisation du dispositif suivant 1°, caractérisées par les points suivants appliqués isolément ou en leurs diverses combinaisons :

a. La substance à effet maser ou laser est un corps solide, notamment semi-conducteur, qui est soumis à une tension mécanique.

b. Le corps solide est soumis à une tension mécanique homogène pour obtenir un déplacement de la fréquence de l'amplificateur ou de l'oscillateur.

c. Le corps solide est soumis à une tension mécanique, en particulier homogène, pour obtenir un élargissement de la bande de fréquences de l'amplificateur.

d. La substance à effet maser ou laser est choisie de façon qu'un ou plusieurs de ses niveaux énergétiques correspondant à la transition excitée par émission induite soient dégénérés, et se décomposent lorsque ladite substance est soumise à une tension mécanique.

e. Le corps solide est soumis à une tension hétérogène pour élargir la bande de fréquences de l'amplificateur.

f. La substance à effet maser ou laser est une substance semi-conductrice présentant une jonction $p-n$, qui est pompée par l'injection de porteurs de charges.

Société dite : SIEMENS & HALSKE
AKTIENGESELLSCHAFT

Par procuration :
A. DE CARSALADE DU PONT

Fig.1

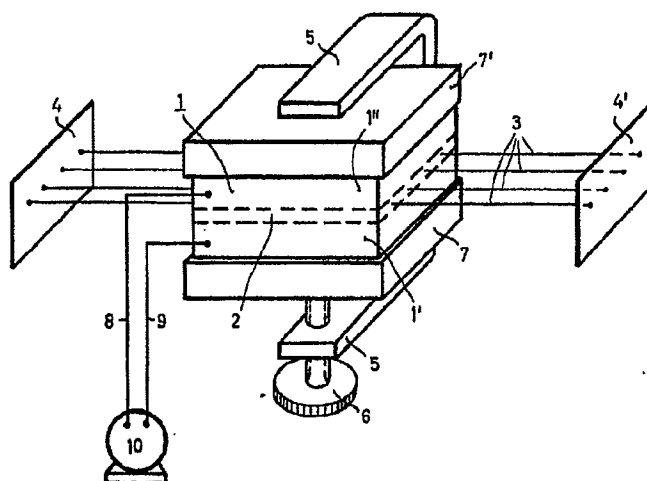


Fig.2

